

Title	木質材料の研究開発における最近の傾向
Author(s)	佐々木, 光
Citation	木材研究資料 (1979), 14: 27-48
Issue Date	1979-12-20
URL	http://hdl.handle.net/2433/51207
Right	
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	publisher

木質材料の研究開発における最近の傾向*

佐々木 光**

Tendency of Research and Development of Wood-based Materials

Hikaru SASAKI

はじめに

ここ十年程の間に、木質材料の製造技術と使用の方法はかなり変化したように思われる。製造技術に関しては、自動化と生産向上のための技術開発が著しく進み、たとえば、パーティクルボードの製造プラントでは、十年前に比べると著しく装置産業化された巨大なシステムが多く見られるようになり、また、単板積層材 (Laminated Veneer Lumber, LVL) および各種の配向ボード類の研究開発も目覚ましく、その製造システムの幾つかは本格的に稼働しつつある。さらに、接着剤についても、イソシアネート、タンニン、パルプ廃液リグニンなどが実用化されてきた。

一方、用途面では、パーティクルボード、ファイバーボードなど従来家具や非構造的用途に用いられたものが、性能の向上や配向性の付与などによって住宅の構造部材として用いられるようになってきており、LVL などはその連続成形性を活用して長尺のトラス弦材など特殊構造部材として定着している。

このような傾向は世界的なものであるが、木造住宅の多い米国やカナダにおけるこの方面の研究動向は注目すべきものがあり、とくに、米国における未利用材、廃材の有効利用に関連するそれは資材の少いわが国の今後の木質材料研究開発のあり方に示唆を与えるところが多いと考えられる。

今回機会を得て米国、カナダの木材研究機関および企業を訪れることができた。本稿はそれらの見聞と内外の文献をもとに、木質材料の研究開発における最近の動向とその背景となっている思潮について考察したものである。

1. 研究開発の視点

最近の内外の木質材料に関する研究開発の足跡を通覧すると、その底流に次の4つの視点が存在するよう思われる。すなわち、資源保続、省力、省エネルギーおよび構造的利用の4点である。

1.1. 資源保続

石油をはじめ、あらゆる資源の有限性が問題となっている中であって、森林資源は生産→利用→廃棄→再生産の理想的な循環系を確立すれば、太陽エネルギーを有効に利用し、環境上公益的な役割を果たしつつ、恒続的に人類に役立てることのできる資源であることが再認識されてきた。一般に、森林資源 (木材) が“renewable”¹⁾ であると言われるのはこのような内容をさすものであって、単純な再生可能を意味するものではないことは明らかである。たとえば、鉄やセメントは多くの熱エネルギーを投入すれば、木材よりも短

* 昭和54年5月18日「木研公開講演」にて講演

** 木質材料部門, Division of Composite Wood.

時間に、高い効率で再生が可能であるし、プラスチックもまた例外ではないと考えられるから、単純な意味の再生性について言えば、細胞組織の複合体である木材の再生産過程は極めて複雑でサイクルが長く、影響する不確定因子が多いために、元来他の資源よりも再生しにくいものと考えらるべきである。しかし、それでもなお木材の方が“renewable”であると言う感じは、再生に人為的エネルギーを投入することなく、また、廃棄される木材そのものから新しい木材が再生されると言う実感なしに、木材が“自然に”再生産されているからであると思われる。このような感覚的な執え方は森林の生産力が人類の木材消費量に比べて圧倒的に大きかった過去の名残りであって、現代においては極めて危険なものと思われる。

世界の森林面積は約 38 億 ha、立木蓄積は 3,400 億 m^3 と推定されるから²⁾、世界の人口一人当たり平均約 0.9 ha、80 m^3 に相当する。その中にはうつ閉度の低い森林や保安林（わが国では森林面積の 28.2% にも及ぶ³⁾）その他公益性をもつものがあり、これと利用の立場からは不都合な材質や立地条件にあるものを除けば、その蓄積は世界の人口 1 人当たり数十 m^3 に過ぎないことになる。

これに対して年間消費量は 1976 年の実績で燃料（約 50%）を含めて約 25 億 m^3 、人口 1 人当たりにして約 0.6 m^3 であり³⁾、利用可能な蓄積の 1~2% 程度に相当すると考えられる。この値は多少ひかえ目に見積った森林の年間生長量に匹敵し、森林資源が持続生産可能な範囲にはあるがかなり減少しており、生長量に近い量を伐採しているものと思われる。

このように考えると木材が“renewable”であるためには、もはや自然に放置してはおれない状態になっており、森林の整備・育成をはかると同時に、利用面では生産地における残廢材や工場廢材の有効利用および間伐材や未利用材の用途開発を推進し、また使用上のあらゆる意味における耐久性の向上をはかり耐用年数を高めることによって、常に生長と消費が良いバランスを保つことに努めなければならない。

米国を例にとれば、近年になって伐採量が生長量を上廻りつつあることが憂慮されており、年間放置または焼却されている 138 million tons の林地残廢材、22 million tons の樹皮および加工過程で出てくる 94 million tons の廢材の有効利用の方法が真剣に検討されている^{4,5)}。また、南部のサザンパイン天然生林に混生する小径広葉樹未利用材の加工・利用システム (BRUSH System)⁶⁾ の開発プロジェクトはすでに完結し実行段階にある（後出）。

わが国は現在用材総需要の 70% 近くを輸入に頼っており（1977 年実績は 6,762 万 m^3 、総需要の 66.4%）³⁾、林野庁の「森林資源に関する基本計画」においても、40 年後においてなお 38.3% の外材依存度を予測しているように、地域的な生長量と消費量のバランスは極めて悪く、廢材・間伐材・未利用材の有効利用に関してはわが国は世界で最も真剣な取り組みを必要とする国である。間伐材について言えば、わが国の人工林面積は森林面積の 37% に相当する 938 万 ha であるが、その 85% は戦後に植栽された若令林で、保育、間伐が必要である。要間伐木の推定材積は年間 500~600 万 m^3 と言われ、国内生産量の 20% 近い量であってその用途開発は国の重要課題である。しかしながら現状におけるその対策事業の規模と内容は米国のそれに比べてかなり立ち遅れているように思われる。

以上述べたように、今後の木質材料の研究開発は多かれ少なかれ、資源論的観点に立たざるを得なくなり、低質材の加工技術の開発、歩留りの改善などが重要であると同時に、耐用年数の解明と評価および耐久性向上のためのあらゆる技術革新が重要課題としてとりあげられなければならない。

1.2. 省 力

省力、オートメーション、装置産業化は近代工業の常識であるから、ことさらに取上げるまでもない点であるけれど、その原料となる木材は生命現象の遺産であるため、個性のばらつきが大きく、元来装置産業のための原料としては適当なものではないので、そこに考慮を要するの 2、3 点が存在する。

木材加工の中で、製材、集成材などの加工は原木の曲り、節、寸法などの欠点を除き、素材の優れた性質である配向性（一方向に繊維が配列している性質）を損わない方向で行われる。しかし、これらの加工では

個々の原木のもつ欠点が個性的で不統一に現われるため、これら欠点を除去し、歩留りの高い木取りをするには極めて高度な判断力を必要とするため、その自動化は極めて困難で未だ成功していない。これらの作業精度は直ちに製品の材質や価格に影響するから中途半端な自動化は反って危険である。

一方、パーティクルボード、ファイバーボードなどでは、節や曲りなどの欠点は分散的に包含できるため、それらに対する特別の配慮が必要であり、したがって工程は高度に自動化され、省力的なものとなっている。しかし、これらの加工では木材の優れた性質である配向性は完全に損なわれ、材質的には2次元の等方性であるが、寸法安定性においても、強度や弾性においても木材の繊維方向のそれに比べると著しく劣っている。

以上のように、装置の自動化を進めると、原木に存在する特性が損われ、製品の材質が低いものとなる傾向がみられる。このことは従来木材の異方性を木材の材料としての欠点に数え挙げていた時代には看過され、むしろ木材から等方性の材料が作られることを“改良”と考える傾向さえ見受けられた。しかし、最近では後に述べるようにすべての木質材料の用途指向として構造的用途を大きくとりあげる傾向にあるため、人命に対する安全性、建物の部分としての耐久性、とくに耐水性などの点について、素材または耐水合板と同等以上の性能が要求されるようになってきたため、原木がもっている配向性（異方性）をそのまま継承するような木質材料または複合材料を開発することが重要テーマとなってきた。

以上の諸点のほか人件費や生産性を考え合わせると、木質材料の今後の開発の方向として、配向性を損わないで装置産業化が可能なものを考える必要がある。その例としては LVL（単板積層材）と配向性ボード類が考えられる。前者は合板と同じ工程でロータリー単板を平行に積層して得られる材料で、集成材や製材と同じ用途をもち、寸法の自由度が高く、低質原木の欠点を分散的に包含し、製造歩留りも高く、品質も安定しており、装置産業化が可能であると同時に資本投下が比較的少いと考えられる。また、後者は機械的にまたは電氣的にパーティクル、またはファアバーに配向性を与えたパーティクルボードおよびファイバーボード、あるいは単板をオーバーレイして配向性をもたせた木質ボード類（複合合板 Composite plywood, Com-ply）などで、従来の木質ボード類の欠点とされてきた低い寸法安定性、低いクリープ特性を一方向（時には直交2方向）において改善したものである。さらにこれらに用いるパーティクルをセーパーレスによって製材と同時に製造するような消力システムが開発されている⁶⁾。

1.3. 省エネルギー

現在、わが国では木質材料の製造に必要なエネルギーのほとんどは石油にたよっている。これは重油ボイラー等の管理の容易さによるところが大きいが、一方ではパーティクルボードやファイバーボードの原料として鋸屑を含めたほとんどすべての木材工業廃材を利用する技術が進んだことにもよるとも思われる。

最近、石油の供給が極めて不安定となり、太陽エネルギーをはじめあらゆる代替エネルギーの利用開発が叫ばれているが、林野庁研究普及課ではわが国の廃材、未利用材のエネルギーとしての活用の可能性の調査をはじめている。

わが国の本質資源は資源保続の項で述べたように、非常に不足しており、今整備の段階にあって、森林は環境保全など公益的な役割りを十分に発揮しているとはいえない状況にあるから、現状では、たとえ木質資源がエネルギー源として無公害で比較的高カロリーである⁷⁾としても、安易に燃料としての伐採を進め、これ以上森林の公益性を損うことのないように望まれる。したがって、さし当り林地における各種残廃材と木材工業廃材を木材工業における熱エネルギーとして活用することに限って考えるべきで、将来石油資源との関連で、これらの残廃材の何%ずつを木材工業原料（パーティクルやファイバーの原料）と同燃料に振分けるべきかと言う問題を各業種について検討すべきである。

一方、最近の石油価格の高騰、入手難は今後の木材加工のあり方として、省エネルギー的であるとのことの必要性を認識させる刺激となった。Table 1 は米国における各種の木材企業において製品1トン当りの加

Table 1. Net energy requirements of forest products.⁸⁾

Product	Million But/ dry ton of product
Softwood lumber	0.94
Structural flakeboard	0.96
Lumber laminated from veneer	3.79
Softwood plywood (sheathing)	3.92
Underlayment particleboard	11.19
Wet formed hardboard	19.61

工に要するエネルギーの調査結果である⁸⁾。これによると湿式ハードボードのエネルギー消費量は圧倒的に大きく、通常のパーティクルボードのそれとかなり大きい。しかし、大型のフレーク状のパーティクルを原料とする構造用フレークボードの製造に要するエネルギーは合板や LVL のそれと同等のもので、製材のそれに次いで消費エネルギー的である。

通常のパーティクルボードよりもフレークタイプの構造用単層パーティクルボードの方が省エネルギー的である点は注目すべきである。表層の細かいパーティクルを磨砕するのにエネルギーを多く要するほか、三層に成形するための分級、乾燥、風送システムなどが複系列となることもその原因であり、最終段階におけるサンディングにおけるエネルギー消費も相当に大きい。また、将来はパーティクルボードの構造的利用が増すと考えられるから、フレークタイプのパーティクルが多く用いられ、鋸屑は特に表面性を重視する用途以外は用いないで、燃料に利用される傾向が一般的となるであろう。したがって、先きに述べたように、製材時にセーパーレースなどを活用し、フレーク状パーティクルの生産を同時に行うようなシステムの開発、ならびに木粉をより高能率かつ消力的に燃焼させることのできるバーナー⁶³⁾の開発が今後の重要課題であると考えられる。

なお、Table 1 の値は、それぞれの加工において副成する廃材を熱源に利用した場合を想定している。この廃材エネルギーを差し引かないで比較すると、針葉樹製材を1とした場合、ナラのフローリング 1.17, LVL 1.27, 針葉樹合板 1.32, 構造用フレークボード 1.46, MDF 1.74, インスレーションボード 1.89, 広葉樹合板 1.95, アンダーレイメントパーティクルボード 2.20, 湿式ハードボード 3.53, 石膏ボード 0.49, アスファルトシングル 0.99, コンクリート 1.40, レンガ 1.43, カーペット 6.10, スチール骨組 8.41, アルミニウムサイディング 34.3 という比率が報告されている⁶²⁾。

この値からも湿式ハードボードの製造には多大のエネルギーを要することがわかる。しかし、同じ繊維板でも MDF はインスレーションボードよりも省エネルギー的であるのが注目される。

1.4. 構造的利用

従来、わが国の木質住宅の構造は木材の骨組みによって外力に抵抗するタイプのものであったため、木質平面材料を構造部材として考える機会がなかった。したがって、優良大径材の減少に伴って、集成材に製造規準⁹⁾を設け、許容応力度を定めて¹⁰⁾、構造材料として完全にオープン化された後も、木質平面材料の構造的な使用のオープン化ははかばかしくなかった。しかし、その後合板の構造的な利用の途は枠組壁工法の導入を機に著しく開けてきた。従来の筋かいに代って合板ダイヤフラムが水平外力に抵抗するという考え方が受け入れられたためである。その後、パーティクルボード、ハードボード、シーシングボードなどについても耐力壁の倍率が決められ¹¹⁾、これらの耐力壁面材としての構造的利用が認められるようになった。

ただ、LVL に関しては、上に述べたような行政的に構造的利用を認めなければならない切羽詰った状態がなかったことと米国におけるような構造的利用実績¹²⁾がないため、一般用（造作用）LVL の JAS 規格¹³⁾

の制定に留まっているのは残念である。しかし、全般的に見ると、木質材料の用途は近年構造的使用に向って大きく展開しつつあることが認められる。

このような傾向は諸外国とくに木質住宅の多い国々で見られる。例えば米国では素材とフェノール合板の組合せによって完成を見た住宅構造を LVL による複合はりやパーティクルボード、ファイバーボード等を多く取入れたものに移行させることを真剣に試みている。その理由としてあげられるのは、まず低質原木の活用による資源保続への貢献と装置産業への移行による消力化およびばらつきの少い必要寸法の材料が迅速に供給されることなどである。

しかし、このような木質材料の構造的利用はその性能によって裏づけられねばならない。要求性能として挙げられるのは 1) 構造部材としての強度と剛性、2) 寸法安定性、3) 耐久性(寿命)の三つであろう。骨組材料についての目標値は素材のそれであり、平面材料についての目標値はフェノール合板のそれであるとされている⁵⁾。たとえば、合板に比べて、パーティクルボードやハードボードの強度と剛性は面内せん断に関するものを除くとかなり低く、とくに、水分変化を伴うときの曲げクリープ性能は著しく見劣りがする。また、寸法安定性も低く、耐水寿命にも相当開きがありそうである。しかし、実際の使用条件の下で、住宅部材としてのパーティクルボードが、住宅の使用期間にわたって支障のない性能をもつならば十分であって、フェノール合板同等と言うのは促進試験に見られる高温の水中に何時間も浸せきするような現実があり得ない状況の下での「同等」である必要はないと考えられる。住宅部材としての性能評価の方法、とくに寿命評価の方法論の確立は今後の木質材料の構造的利用の展開がスムーズに行くか否かの鍵と考えられる。

しかし、この方法論の確立は非常に困難である。とくに実際の使用環境の幅をどの程度に推定するのか、その時間因子をどのようにして濃縮すればよいかなど難問山積である。

一方、この方法論の確立を待つことなく、たとえば、木質ボード類の材質をフェノール合板のそれに近づく努力によって道を開こうとする方向がある。配向性パーティクルボード、配向性ファイバーボード、Com-ply (単板オーバーレイ・パーティクルボード)^{14,15)}、Plystran (単板オーバーレイ・配向性パーティクルボード)¹⁴⁾、Stranwood (3 プライ合板のように直交配向性をもつ 3 層パーティクルボード) などはいずれも木質ボード類の曲げクリープ性能や、面内のスタビリティ、強度や剛性を合板のそれに近いものにするための努力である。

また LVL については、米国において 2 つの目覚ましい研究開発の実績が見られる。1 つは低質サザンパインの厚剥き ロータリーベニヤを用いた マジソン 林産試験場の Prss-lam の製造システムの開発研究であり^{16,17)}、他の一つはダグラスファーなどの 2 mm 程度の単板を数多く積層し、安定した高い引張強度をもつ Micro-lam に加工し、I 型ビームのフランジ材に用いることを実用化し、スパン 120 m のフットボールスタジアムの天蓋施工の実績を誇る Trus Joist Corp. (Boise, Idaho) の技術開発である¹²⁾。

このように海外における構造用の新しい木質材料の研究開発は目覚ましいものがあるが、一方わが国においても、前述のように大量の間伐材などの利用開発が問題となっており、その構造材料への加工システムの開発研究も開始されている^{18~21)}。

このような新しい構造材料の開発に必要な点は、1) 製造システムと材質に関する技術データの完備、2) 構造的使用に対する公的な認定(わが国では建築基準法第 38 条に示されている建設大臣による材料認定が必要である)、3) 実際に施工するに当たっての取扱いおよび他の部材との接合方法の仕様、4) どのような環境条件の範囲では耐用年数はどれ程あるかと言った保証、などが揃えられなければならない。今後、木質材料の開発研究に当たっては、このような総合的なシステムの完成が要求されることになると考えられる。

2. 最近の研究開発の具体的な例

木質材料に関する研究開発は木材成分の化学処理や、木材組織の物理的あるいは物理化学的加工などの原

理的な研究から、あらゆるディメンジョンのオーダーにおける木材質エレメントの接着集成加工の方法、各種の配向性付与方法とそれによってもたらされる特性の解明など、さらには製造装置の改良から装置産業化へのシステム開発、構造部材としての利材や廃液の利用システムの開発、木材工業におけるエネルギー問題の研究など広範囲にわたっていて、すべてをここに紹介することはできない。

ここでは主として米国・カナダにおける最近5年間の開発動向の中から興味深い幾つかを紹介した。またそれらに関連の深い著者の最近の研究や日本やヨーロッパのそれも1, 2併記した。

2.1. 接着および接着剤

2.1.1. Non-conventional Bonding Technique

最近、Non-conventional Bonding というテーマが話題になっている。これは通常の接着剤を用いない接着の意で、Univ. of California, For. Prod. Laboratory を中心に研究が活発である。この方法は種々の酸化剤を主体とする薬剤で木材または繊維状木材の表面を処理し、熱圧することにより活性化された表面同士に結合を生じさせるものであるが、その結合は条件の設定がよければ意外に強力で、耐水性も高く界面に何んらかの化学結合が存在するものと言われている。しかし、そこには種々の可能な反応メカニズムが考えられ、未だ分らない点が多い。過去において種々の提案や特許が見られるが、Stofko らの研究は広範囲の酸化剤についてハードボードのマット内の結合改善の効果を調べており²²⁾、よい足がかりを与えている。検討されている酸化剤はクロム酸塩、硝酸塩、亜硝酸塩、過氧化物、過塩素酸、過マンガン酸塩、第2鉄化合物、過硫酸塩などにわたっている。

最近の研究を見ると、過酢酸と過酸化水素で処理した薄板の接着ではオープンアッセンブリータイムが効果的に接着強度に影響を及ぼすこと²³⁾、過酸化水素、硝酸、フルフリルアルコールの組合せ処理がファイバーボードの材質を向上させること²⁴⁾、酸素や窒素酸化物による強い酸化処理を受けたフレークにダイアミンを作用させることによって、非常に材質のよいパーティクルボードを製造できること²⁵⁾など興味深い研究成果が得られている。

これらの方法は木材と性質の違う合成樹脂を介して木材を接着してきた従来の接着と異なり、木材表面の活性化により木材の成分同士が結合するのであるから、より合理的な接着と考えられ、今後の接着のあり方を示すものとして大変興味深い。パーティクルボードやファイバーボードの製造における応用が期待される。

2.1.2. パルプ廃液の利用

最近、石油の高騰からフェノール系接着剤の将来が危ぶまれるようになり、構造上の類似性からリグニンの接着剤としての利用に関する研究が再び活発化しつつある。パルプ廃液から得られるリグニンの接着剤としての利用は、資源の有効利用と同時に環境の浄化にも役立ち一石二鳥である。

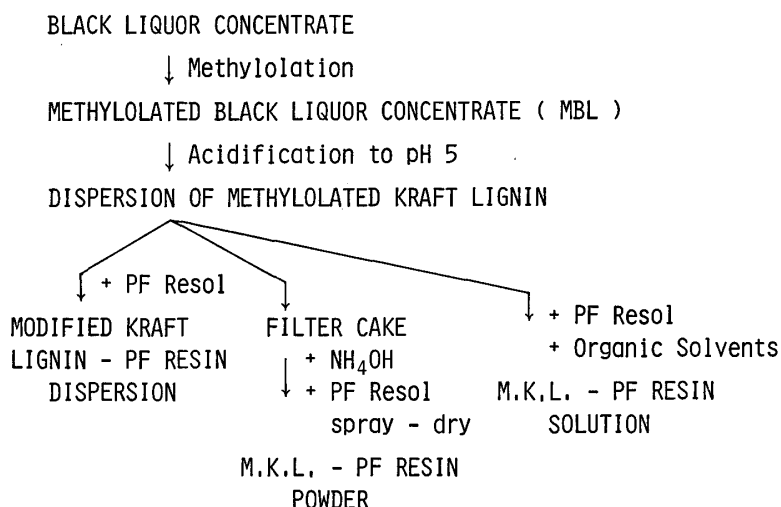
従来、この方面の研究はサルファイトパルプ廃液 (Spent sulfite liquor, SSL) およびクラフトパルプ廃液 (Black liquor, BL) について行われてきたが、いずれの場合も廃液中のリグニン分子の反応性が低すぎるため、実用的な樹脂接着剤の開発がおくれている。

最近米国とカナダにおいて、BL や SSL から接着剤を得る実用的な方法が検討され、とくに SSL についてはパーティクルボードの接着剤として実用化に踏切っている。以下その概要を示す。

a) Modified Kraft Lignin (MKL)-PF Resin

Dolenko ら²⁶⁾ はクラフトリグニンとホルムアルデヒドの反応に関して、僅かであるが、あるステージのフェノールホルムアルデヒド (PF)、レゾール (すなわち単純なまたは低分子量の Polymeric phenol alcohols) によって、150°C 以上の温度でクロスリンクを生じ、硬く脆い樹脂を形成することを見出し、接着剤としての実用性を考え分散液、溶液、粉末の三種の形を示した。Table 2 はそのフローチャートである。表において、まず、クラフト廃液はホルムアルデヒドでメチロール化され、硫酸などで酸性化された分散液に調製された後、PF レゾールを加える段階で異なった方法により分散液、粉末、或いは溶液の形の樹脂が作られる。

Table 2. Process for Modified Kraft Lignin-PF Resin Production.²⁶⁾



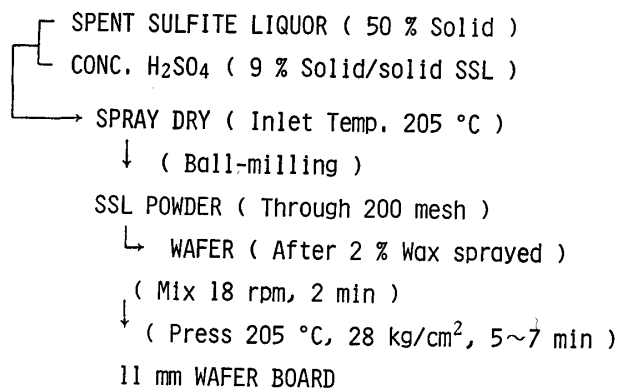
これらの樹脂を用いた木材接着試験の結果から、MKL: PF Resol の比は8:2が限界で、それ以上 MKLを増すと接着力が著しく低下し、樹脂の pH が6以上になると木破が減ずることが明らかである。また溶液を用い 177°C で熱圧された合板はフェノール合板と同等の外装性能をもつことが示され、ウェーファーボードについても、この樹脂粉末を 2.5% 用い 204°C の下で成板したものは、外装グレードの規格に充分合格している。

わが国はクラフトパルプの生産が主体をなしているから、この種の接着剤の実用化は極めて有意義と考えられる。今後の研究開発が待たれる。

b) Spent Sulfite Liquor (SSL) Binder

カナダでは構造用のウェーファーボードの研究が盛んであるが、その一環として SSL Binder の開発が進められてきた。従来、SSL を不溶性の樹脂硬化物にするには高温高圧下で長時間保持することが必要とされ、この方法で作られたパーティクルボード²⁷⁾は寸法安定性と耐水性に優れているが、プレスサイクルが長すぎて経済性がないとされていた。SHEN らは SSL に稀硫酸を与え、強い酸性にすることによりプレスサイクルを短縮することを試みた。当初はウェーファーの表面に稀硫酸を予め吹着け、その上から SSL 粉末を撒布する方法²⁸⁾を開発したが、この方法ではプレスサイクルがフェノール樹脂ボードより多少長かった。その後、Table 3 に示すように濃硫酸を SSL に直接加えて強い酸性とした後スプレッド乾燥で粉末とし、ワ

Table 3. Process for Spent Sulfite Liquor (SSL) Powder Production.²⁹⁾



ックスと併用でウェーファーに添加し、フェノール樹脂ボードと同様のプレスサイクルでボードを生産することに成功した²⁹⁾ (ただし温度は少し高い)。

しかしながら、このプレスサイクルの短縮に用いた酸は、成板後も残っていることが充分考えられるため、熱を受けたり、長期の使用の間に、木質部を劣化させる可能性があるので十分な検討を要すると思われる。

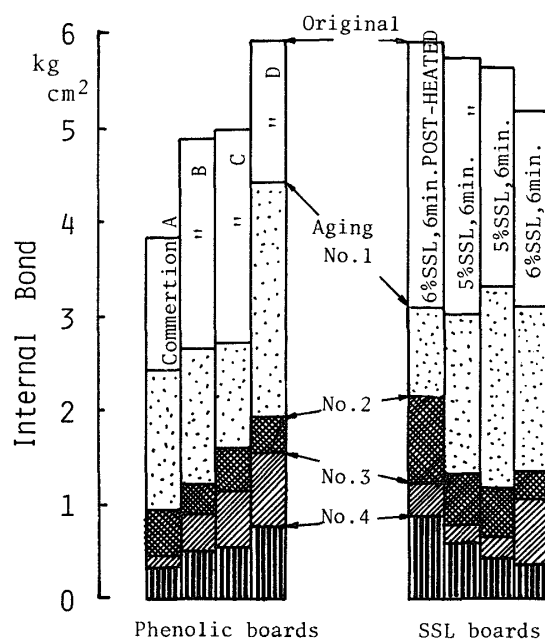


Fig. 1. Comparative aging behavior of eight laboratory-made SSL boards and four commercial phenolic boards.²⁹⁾

Fig. 1 は市販の4種類のフェノール樹脂を用いたウェーファーボードと SSL を5および6%添加したウェーファーボード (図中 Post-Heated は成板後 149°C, 2 h の熱処理を意味する) の促進劣化試験の結果の比較である。各処理 No. の内容は次の通りである。

Aging No. 1: CSA 0188—2 時間煮沸, 湿潤のままテスト。

Aging No. 2: ASTM D1037—49°C 水中浸せき 1 h, 93°C スチーム吹着け 3 h, -12°C 20 h, 99°C 加熱 3 h, 93°C スチーム吹着け 3 h, 99°C 加熱 18 h のサイクルを6回繰返す。

Aging No. 3: 149°C で加熱 20 日間。

Aging No. 4: 連続煮沸 20 日間。

図の縦軸はウェーファーの表面の劣化に敏感な剝離強度を示している。図から市販のフェノール樹脂ボードの性能は大きなバラツキをもち、実験室製の SSL ボードの性能はこのバラツキの間に入っており、強酸による耐久性の低下があるかどうかの判断はつきかねる。さらに多くの実験が必要であるが、今のところ一応フェノール樹脂ボードに近い性能が期待できると考えられており、カナダでは工業生産に入っている。

上記の実験はカルシウムベースのサルファイトパルプの SSL について行ったものであるが、最近カナダにはアンモニアベースのサルファイトパルプ工場が幾つか建設され、そこから得られる SSL は分子量分布が小さく、スプレイ乾燥に当って非常に細かい粉末が得られ、接着性能も優れていると言われている。いずれにせよこの樹脂粉末の価格はフェノール樹脂粉末の1/3程度であって、とくに石油問題の酷しいわが国にとって非常に魅力的な接着剤である。今後のこの方面の研究開発は国民経済にとっても重要課題であると考えられる。

2.2. 構造用パーティクルボード・ハードボード

パーティクルボードの構造部材としての利用は薄くて広い表面積をもつフレークタイプのパーテクルを用いたボードについても古くから提唱され、床下地は勿論、野地板、耐力壁面材など住宅の主要な平面材料として合板の用途の部分を代替してきた³²⁾。そこには構造耐力と耐久性が要求されるが、面内における端辺に平行なせん断外力（耐力壁が水平せん断力を受けるような場合の外力条件）に対する性能を除けば、フレークタイプのパーティクルボードでも強度や寸法安定性に関して、フェノール樹脂を用いた合板に比べて、十分なものとは言えない。たとえば、比重 0.7 程度のパーティクルボードの曲げ強度は、比重 0.5 の積層数の多い合板のその 1/2 以下であり、端辺に沿った方向の吸水による膨張率は 5 倍も大きい³⁰⁾。さらに、床として重要な曲げクリープ性能、とくに吸放湿過程におけるそれはパーティクルボードの最大の弱点と考えられている。たとえば湿度一定の下で合板のクリープ限度（長期荷重の下で破壊に至らない荷重限度）ははその比例限度荷重の 3/4~4/4、パーティクルボードやハードボードではほぼ 1/2 であるから³¹⁾、水分非定常状態におけるパーティクルボードの床面材としての性能は非常に低く見積らざるを得ない。

したがって、パーティクルボードを床材として用いる場合、厚さを合板の 1.5 倍程度にしても、強度やたわみの上では合板と同等とは言えず、厚くなると釘打ちも大変であり、比重も合板の 1.5 倍であることを考えるとパーティクルボードの作業性は合板に比べて問題にならない程低い。他の部材への使用でも似たようなことが言える。

しかし、この弱点を何んとか克服して、パーティクルボードをもっと使いやすいものにすることが資源論の立場から重要である。米国や北欧における配向性パーティクルボードや配向性ファイバーボードの研究開発はこの意味で劃期的なものであり、合板のための優良原木の見通しが悪くなってきた今日、それらに対する期待は非常に大きい。

2.2.1. 配向性ボード

すでに梶田³³⁾によって紹介されているように、パーティクルやファイバーに配向（Orientation, 一軸方向に繊維の方向を揃えること）を与える方法には大別して機械的方法と電気的方法の 2 つがある。

a) 機械的配向性ボード

機械的方法の代表的なものは交互に或いは上下に反復運動する多数のブレード^{34, 35)}またはワイヤー³⁶⁾の上に細長比の大きなフレーク状のパーティクルを落下させ、ブレードまたはワイヤーを通過させるときに、それらに平行になるようにスピンを与えるものである。Fig. 2 は米国 Idaho 州にある Potlatch Corp. で実

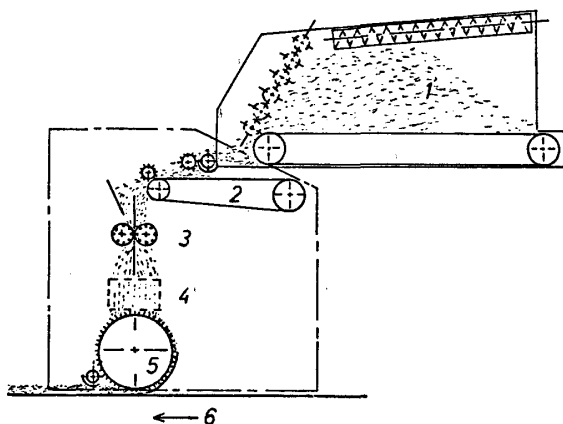


Fig. 2. Schematic of flake orienter, the Potlatch Crossorienter.³⁵⁾
1: Metering being, 2: Metering belt, 3: Spreader roll,
4: Preorienter, 5: Drum Orienter, 6: Forming conveyor.

用されている配向装置 (Orienter, Aligner) の例である。接着剤が塗布されたパーティクルはスプレッターロールでプレオリエンターの上に撒布される。プレオリエンター内では画面に垂直で縦に並んだ多数の平行ブレードが交互に反復運動をして、通過するパーティクルを画面垂直に配列させ、ドラムオリエンターの上のフィンの間のパーティクルをフォーミングコンベヤーの上に移しかえる。したがってパーティクルはコンベヤーの進行に対し直交して配置される。コンベヤーの進行方向に配列させる方法としては一枚毎に逆方向に廻転する多数のディスクやスパイクなどをマットの流れの中に配置する方法などがとられる。これらの組合せによる直交配向の三層ボードは実験段階であって実用化されていない。

パーティクルの幅に対する長さの比率 (aspect ratio) があまり長すぎても、短かすぎても良好な配向性は得られない。通常ストランド (Strand) と称される形状のものが用いられる。その寸法は厚さが 0.3 mm 前後、幅数 mm から十数 mm、長さ数 cm 程度のものである。

このほかに、クライバウム法に用いられているようなエクストルージョンプレスの部分に、Fig. 3 のようなスチールベルトを併用して単なる配向性マットフォーメーションに用い、出て来るマットを平板プレスで熱圧する方式も提案されている³⁷⁾。この方法で作られた配向性パーティクルボードの配向方向の強度と直交方向のその比は 2 : 1 程度にとどまり、優れた配向性とは言えないが、逆にエクストルージョンボードの欠点である押出し方向の膨潤率は配向方向の 3 倍程度にとどまり、使いやすいものとなっている。

これらの方法で製造されたボードの材質の 2, 3 の例を示すと次のごとくである。まず、Table 4 は Fig. 2 の装置を実験室的に作って、上記ストランドで製造した配向性パーティクルボードと、同じストランドによ

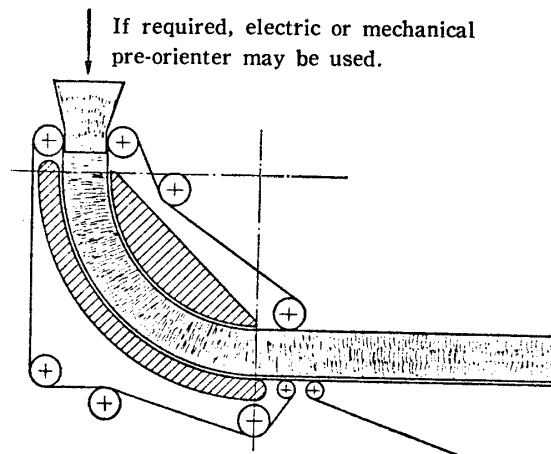


Fig. 3. Schematic of continuous particle orienter of extrusion type.³⁷⁾

Table 4. Selected Test of 6 mm Thick Laboratory Board at Potlatch Forest Inc. (Douglas-fir, s.g.=0.77, flake thickness 0.4=mm)

Materials	Modulus of Rupture (kg/cm ²)	Modulus of Elasticity (10 ³ kg/cm ²)	Internal Bond (kg/cm ²)
Random Particleboard	465	58.9	8.82
Aligned Particleboard (Parallel-To-Orientation)	823	120.4	8.79
Aligned Particleboard (Perpendicular-To-Orientation)	191	16.7	

る非配向 (Random) パーティクルボードの力学的性質の比較である³⁸⁾。同表において、配向ボードの配向方向の曲げ破壊係数 (以下 MOR) は直交方向の約4.4倍、曲げ弾性係数 (以下 MOE) は約7倍であり、それぞれの値の平均値は非配向ボードの MOR および MOE よりも幾分高い。このことは配向性の付与による一つメリットと考えられる。また、剝離抵抗 (以下 IB) は配向、非配向を通じて本質的な相違は存在しないと考えられる。

しかし、これらの性質はすべて好条件で製造された場合のもので、同じストランドを用いて、より実際の工場生産に近い形で製造されたボードの性質は Table 5 のようにならかなり絶対値が低くなっており、異方度 (配向方向の性質を直交方向の性質で除した値) も MOR は約 3.4, MOE は約 5 とそれぞれ実験室製の場合よりも低い³⁹⁾。Table 4 のボードに比べ Table 5 のボードの比重は 0.1 程度低いので、その影響もあるが、この種のボードの比重と力学的性質の関係から考えて⁴⁰⁾明らかに上記の傾向が認められる。

Table 5. Properties of oriented particboard produced in the pilot plant.³⁹⁾

Nominal thickness (mm)	Spec. grav.	I B (kg/cm ²)	MOR (kg/cm ²)		MOE (10 ³ kg/cm ²)	
			// *	⊥ *	//	⊥
6.25	0.64	8.19	386	106	60.3	12.3
9.38	0.66	7.56	416	114	73.7	13.1
10.93	0.64	6.44	384	130	67.8	15.1

* //: Parallel to the orientation
⊥: Perpendicular to the orientation

Table 5 に示したボードをコアとし、3 mm の厚さのダグラスファー単板をコアの配向方向に直交してオーバーレイした合計厚さ 12.5 mm の Composite panel (前出 Plystran) と 4 プライ CDX グレードのダグラスファー合板の材質を比較した結果を Table 6 に示す³⁹⁾。この表から Plystran が平面構造材料として合板に匹敵する高い性能を有することがわかる。ここには示されていないが、環境の相対湿度が50%から90%に変化する間に、この種の配向コア材料はその配向方向に 0.03% 以下、直交方向に 0.4% 以下の伸びしか生じない。

Table 6. Some physical and mechanical properties of composite panel and plywood.³⁹⁾

Properties	Composite panel	Plywood
Nominal thickness (mm)	12.5	12.5
Specific gravity	0.63	0.56
MOR // (kg/cm ²)	644	646
MOR ⊥ (")	139	281
MOE // (10 ³ kg/cm ²)	104	96
MOE ⊥ (")	11.8	19.7
24hr Water absorption (%)	20.1	29.7
Thickness swell in 24hr soak (%)	4.3	5.2
Internal bond (kg/cm ²)	8.54	9.24

北米では一般にこの種の Plystran はすでに ICBO, BOCA, FHA など住宅関係の公共機関で建築構造材料として認可されており、外壁や屋根の下地に用いる CD sheathing として合板に代って用いられており、やがてはグループを切って外壁用 siding としての利用も考えられている。一方床板としては、パーティクルボードは従来挽板などの subfloor の上に平面性を作り出すための underlayment として用いられてきたので、配向性を必要としなかったが、若し Plystran などを subfloor と underlayment を兼ねた単層床に用いるならば有用な材料と考えられており、モービルホームや普通住宅の今後の床として期待されている。実際の環境における2年間の床クリープ実験の結果では、三層配向性ボード (Stranwood 前出) は同じ厚さの合板に比べ床として優るとも劣らぬ性能を示しているのは興味ある事実である⁴¹⁾。

b) 電気的配向ボード

この方法は20年程以前から提案されていたが、Washington State University の TALBOTT 教授 (現在退職) らの研究によって実用化への道が開けた。方法はフォーミング装置内のパーティクルが落下してくる途中に 1~10 KV/in 程度の直流または交流の電場を設け、通過するパーティクルに静電分極を生じさせ、それによるトルクをパーティクルに与え、配向させる方法である^{42~46)}。

実験によるとパーティクルに生ずる静電トルクはパーティクルの長さの3乗、電場の2乗および aspect ratio (前出) の0.3乗に比例するが、パーティクルの慣性モーメント (長さの4乗) に逆比例することが明らかにされている。したがって、電圧を高め電極間隔を接近させることが有効で、パーティクルの長さは短い方がよく、細長さは分極するに充分 (1:2以上) であれば大きくとる必要がないことになる。このことから、鋸屑を多少砕いたようなものは迅速に配向されるが、大形のパーティクルや長い繊維などは接触したまま落下するとお互いの拘束を脱するに充分なトルクを得ることが困難なため、配向しにくいと考えられる。お互いの拘束なしに自由に廻転させるためにはパーティクルを粉雪のように稀薄で分散的に落下させる必要がある。そのためにはタッキネスの少い接着剤が要求される。

実際にファイバーがこの電場を落下する様子はパーティクルのそれとかなり異っている。最初のファイバーが電極の表面に突差さるように着くと、それに近いものがその先端に吸着され、次々と長いひもを形成した後には自重によって落下する。個々のファイバーは通直ではないから、落下して構成されるマット内の繊維の配向性は通常それ程優れたものではない。一般にこの種の材料の配向は電気的方法がすすめられているが、むしろ紡績に見られる機械的な方法を適用するのがよいかも知れない。Table 7 は実験室において、注意深く電気的方法で製造された配向性ボード類の MOR と MOE の測定例である⁴³⁾。これらは工業的に

Table 7. Properties of several types of oriented board corrected to 0.7 specific gravity.⁴³⁾

Formulation	MOR(//) (kg/cm ²)	MOE(//) (10 ³ kg/cm ²)	MOE(//) MOE(⊥)	MOR(//)+MOR(⊥) 2 MOR (r)
1. Douglas-fir fiber	601	52.5	2.4	1.11
2. Hammermilled cedar bark	234	35.7	2.6	1.52
3. Redwood flakes	491	78.4	3.3	1.24
4. Hammermilled Douglas-fir chips	321	60.9	6.0	1.37
5. Three-layer board (faces : Formulation 1, core:4)	595	70.0	3.8	1.36
				av. 1.36

(//) : Parallel to the orientation

(⊥) : Perpendicular " "

(r) : of random board

生産された場合にはかなり低下するであろう。この表からも明らかなように、配向ボードの配向方向と直交方向における強度の平均値は同じ材料を用いた非配向ボードの強度より 10～50% 大きい。

電氣的配向原理をコンパクトな形に組み、通常のパーティクルボードのフォーミング装置とマット搬送ベルトの間に押入して、任意の層を任意の方向に配向させる方法は Bison-North America 社の独自のものがあって、Electraligner と称し、ノールウェイやフィンランドへ輸出し、大いに活用されている。米国内では中比重ファイバーボードに適用しているが、満足すべき稼働状況ではないと言われている。Fig. 4 は Electraligner を用いて通常のパーティクルボードプラントで Plystran を製造する方法の模式図である。

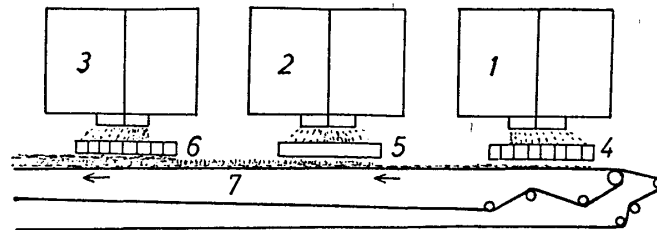


Fig. 4. Schematic of application of Electraligner to produce Plystran with a ordinary particle mat former
1: Former for the back, 2: Former for the core,
3: Former for the face, 4 and 6: Electraligner to align particle in parallel to moving of the mat,
5: Electraligner to align particle in perpendicular to moving of the mat, 7: Forming belt.

C) その他の研究

湿式のファイバーボードに配向性を与える方法の研究も行われている。Univ. of Washington の BRYANT 教授は木材は勿論、あらゆる農業廃棄物のうちワラのように繊維質を有するすべてのものを対象とし、まずハンマーミルで砕き、水中でビーターにかけ繊維化した後、ワックスやサイズ剤などを混合して、洗濯用回転式脱水機の中に入れ、回転速度が高くなった時点で水を抜き、遠心力によってファイバーを予め周囲に張られた金網の内側に抄き上げる。このとき、ファイバーは水流に沿って配向し、そのまま遠心力で抄き上げられるから、捻じられた金網上のファイバーは一方向に配向している⁴⁷⁾。

この場合の配向度は MOE または膨潤率の比で表現すると 1.8～2.5:1 程度であって、前記乾式のものに比べて配向度は高くない。このボードは波板状に成形して屋根材料とすることが考えられている。

一方、バガスによる配向ボード製造システムの開発も行われている。Vancouver 郊外にある Hawker Siddeley Canada Ltd. はチップと製材を同時に製造する Chip-N-Saw などの製材・木工関係の機械部門をもつ鉄工会社であるが、フィリピンを対象に配向性バガスボードの製造システムの開発に乗り出した。このシステムの心臓部は砂糖キビの絞りかすを入れると自動的に縦に2つに割られ、ピスの部分を削り取り、皮の部分のみの幅 5 mm、長さ 10 cm 程度の strand に加工する装置で Lignex Sugar Cane Separator と呼ばれる。配向方法は簡単な機械的配向装置により、現地の農業規模に合った小さなスケールのシステムになっている。実験によると製品強度は非常に高く、接着剤量が著しく少いため製品コストは低いと言われている。

2.2.2. Composite plywood

すでに前項で単板をオーバーレイした配向性ボード Plystran について述べた。ここで言う Composite plywood (複合合板) とはコアに非配向性ボードを用いた合板いわゆる Com-ply と上記 Plystran に代表される配向性ボードをコアとした合板の総称である。最近ではハネカムコア合板や他材料との複合合板に対し

ては Composite plywood の名称は用いなくなっている。

わが国ではこの種のボードは20年前から純国産プラントによって製造されているから、今更目新しいものではないが、米国の場合、用途を建築構造材に絞って考えている点に興味深い。したがって接着剤はすべてフェノール樹脂を用いることを原則としているが、最近ではイソシアネートによるものも製造されるようになってきた。

構造的利用に関して非常に多くの研究が行われている⁴⁸⁻⁵³⁾。その結果実験室的にも実際的にも roof sheathing, subfloor および single-floor など通常の建築的用途に対して合板に代替できることが確かめられた。American Plywood Association も合板原木の消費をおさえるため、Composite plywood の研究を独自に行って、強度と耐久性および寸法安定性のすべてにおいて、同じ厚さの合板と等価な扱いができることを結論づけた。

実際の施工に当って、シーシングのジョイント部のスペースを合板より多少大きくとること、屋根下地では端辺で6インチ、内部で12インチの釘間隔を要し、床では端部6インチ、内部10インチの釘間隔を要するなど仕様を明らかにしている。

一方、イソシアネートを用いたボードは米国では Oregon 州 Baker にある Ellingson Timber Co. 一社で製造されているのみであるが、イソシアネートは金属にもよく接着するので、この会社の製品 (Elcoboard) はすべて単板同時圧縮による Comp-ply である。

同社の屋外試験地には3年間風雨に暴露された合板、ウェーファーボード、Plystran および Elcoboard の外壁が並んでいるが、イソシアネートを用いた Com-ply の耐候性は他の3者よりも明らかに優れていたのは興味深かった。

2.3. 単板積層材 (LVL)

米国では LVL に関する技術開発の研究は3つに大別することができる。その1は Madison の林産試験場が研究チームを作って開発した Press-lam に関するものであり、その2は Trus. Joist Corp. (Boise, Idaho) の開発した Micro-lam に関するものであり、最後は南部の小径木を対象にした南部林業試験場の有効利用システム (BRUSH system) の一環としてのものである。

Press-lam については詳細を既に紹介^{54,55)}しているのでここでは省略する。

2.3.1. Micro-lam

Micro-lam は厚さ 2.5~3 mm の薄い単板を多数重ねフェノール樹脂で特殊な連続プレスで熱圧されて得られる LVL である。

単板の適正厚さを決定する因子として考えられるものは次の通りである。すなわち、乾燥速度(生産量)、接着剤の必要量と単価、製品の材質。Micro-lam は普通の計算ではとても適正とは考えられないような薄い単板を用いている。それは製品の品質を中心に考えたからであろう。Table 8 は 3 mm の厚さの単板のグレード毎に LVL を製造し 2×4 材の引張試験を行い、同じグレードの素材の引張強度と比較した表である。表において、サザンパインの高グレード (No. 1) の場合は LVL と素材の引張強度の間に差異はないが、グレードが低くなる程 LVL の引張強度は素材のそれに比して大きくなっている。しかも LVL の引張強度のバラツキは素材の同グレードのものに対して考えられない程小さくなっていることがわかる。すなわち、13プライの LVL の引張強度は単板グレードにはあまり影響されず非常に安定した性質であると言える。

元来、木材の引張強度はその欠点(節や目切れ)に極めて敏感なので、木材を引張材に使用するような設計は出来るだけさけているが、曲げ部材の引張側、とくに最近わが国でも使用が認められようとしているボックスビーム(または I ビーム)の引張フランジは避けることのできない引張部材である。これらの部材には欠点のない材料が必要であるが、そのような良材は容易に入手できなくなっている。したがって、今後ますますボックスビーム等複合はりの需要が増加する反面良材原木が少なくなってくるから、Table 8

Table 8. Tensile strength of laminated 2 by 4's by hypothetical grade classification (lamina: 3mm thick)⁵⁶⁾

Species	Hypothetical grade	Number of laminated 2 by 4's	Tensile strength of laminated 2 by 4's		Solid wood strength
			Average	Range	
			kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
Douglas-fir	Construction	11	376	295 - 412	242
	Standard	10	379	323 - 463	203
Southern pine	NO. 1	7	393	305 - 440	400
	NO. 2	6	323	301 - 342	256
	NO. 3	8	294	223 - 382	164

のような高引張材料は非常に貴重になってくる。

強度の安定性、とくに高い引張強度と小さなバラツキは数プライ程度の厚い単による LVL では期待できない。

このような考えから、Micro-lam が生まれたものと思われる。事実 Micro-lam は同社の主な製品である合板をウェブとする I ビーム (TJI シリーズ) のフランジ材として、金属パイプのウェブメンバーをもつ平行弦トラス (TJ/50 and 60) のフランジ材として安全性と信頼性の高い材料として用いられている。

最も有名なのは Univ. of Idaho, Varsity Center, Moscow, Idaho のフットボールスタジアムのスパン 120 m, 幅 120 m, 高さ 45 m の樽型天がい鉄パイプによるオープンウェブの上下を厚さ約 5 cm の Micro-lam のデッキでカバーした巨大な構造物である (Fig. 5)。木材が軽くて強いことをうまく利用した優れた構

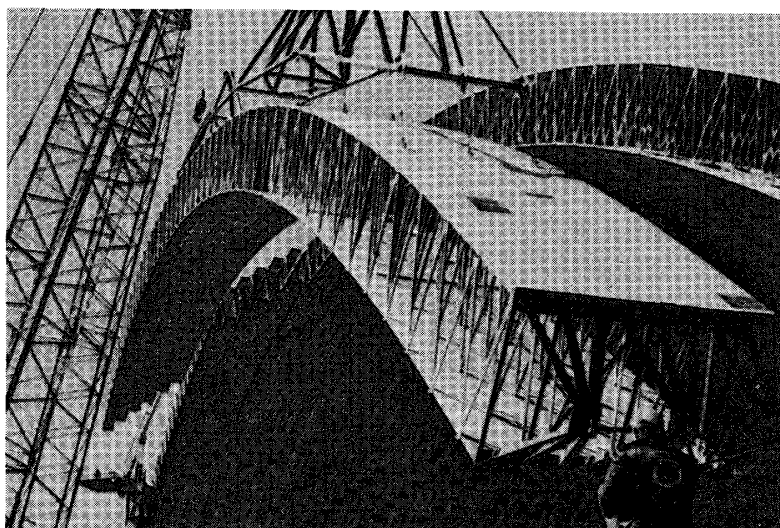


Fig. 5. A dual deck open web system of Micro-Lam and tubular steel for strong light weight efficiency—University of Idaho Varsity Center, Moscow, Idaho (Photo: Trus Joist Corp.)

造物であると思われる。

この Micro-lam は先きに述べたように、厚さ 2.5~3 mm の 2×8 ft のダグラスファー単板を材料とし、その末端はラップジョイントに重ね合せ、キャタピラー方式の長さ約 20m、温度約 180°C、圧縮圧 30 kg/cm² 以上で強力に圧着される。送り速度は 30 cm/sec、3 シフトで 1 シフト当り 8 時間に 330,000 ft を生産できるという。隣接ラップジョイントの間隔は 1 ft にとっている。

Table 9 は工場で生産されている Micro-lam をランダムサンプリングして試験した結果⁵⁷⁾である。この表の値は Micro-lam の材質が、素材の最高グレードの材質に匹敵し、素材ではバラツキが 25~35% 位あるのに比べて Micro-lam では 8~13% 程度で極めて小さく、許容応力の観点からすれば Micro-lam は素材の最高グレードのものよりはずっと高い値となり、略算すれば、引張 140 kg/cm²、曲げおよび圧縮 196 kg/cm² となる。

Table 9. Summary of physical and mechanical properties for MICRO=LAM LVL made from Douglas-fir veneer.⁵⁷⁾

Property	Mean value	Std. dev.	Coeff. of var. (%)
Tensile strength (kg/cm ²)	450	54.6	12.1
Bending strength (kg/cm ²)	800	85.4	10.7
Tensile stiffness (10 ³ kg/cm ²)	142	12.6	8.8
Edge bending stiffness (10 ³ kg/cm ²)	161	12.5	7.8
Compression strength (kg/cm ²)	565	45.2	8.0

集成材の引張側最外層ラミナとして Micro-lam を用いた実験でもこれと同様に、Micro-lam の安定した材質が集成材の許容応力度を高める結果を生み出している⁵⁸⁾。

2. 3. 2. 小径木および低質木の LVL 化

ここでは、まず、米国南部のサザンパインの森林を対象にした小径木の加工システムの中における LVL の位置について述べ、次いで著者らが小径間伐材および低質カラマツ材の LVL 化に関して行った 2, 3 の研究を紹介したい。

a) BRUSH System の中の LVL

米国南部サザンパインの生えている地域の立木の 50% は直径 15~25 m 位の低質広葉樹であり残り 50% は小径木を多く含むパインであって、これらの総合的な加工・利用システムの確立が重要である。BRUSH System はこのためのもので、Biomass Recovery and Utilization with Shaping-lath Headriings の頭文字をとって名づけられた⁶⁾。

Fig. 6 は BRUSH System のフローチャートである。全体を通じて最も重要な加工機械は図から明らかのようにセーパーレース (shaping-lathe) である。鋸は出来る限り使用せずにセーパーレースでフレークパーティクルを切り出しながら残る材の形状を作っていくこの方法は一挙両得である。

まず、胸高直径 12~30 cm の立木は tree puller と称するブルドーザによって毎分 1.5~2 本の早さで引

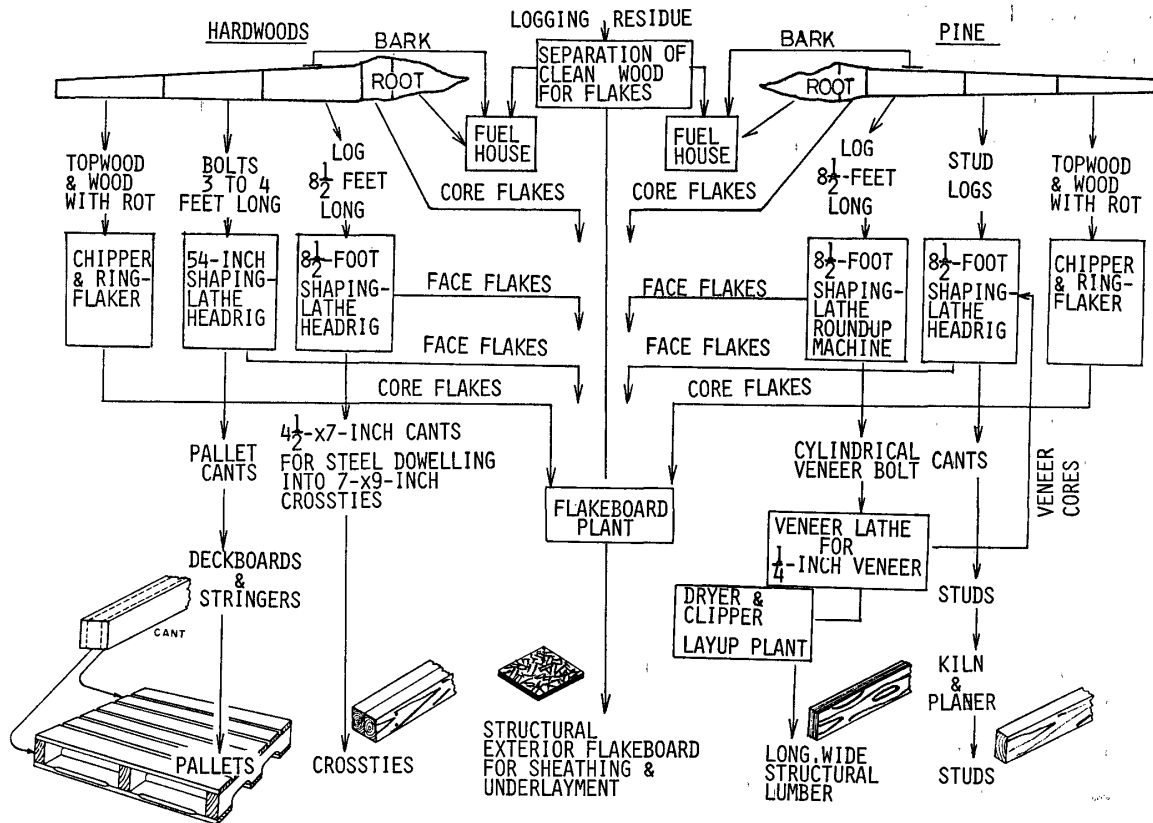


Fig. 6. System for utilizing low-quality trees, BRUSH System by Peter Koch (1976).

抜かれる。胸高直径 30 cm 以上の木は根元 15 cm の高さで切られ、梢端材や枝は切り払って San Dimas Koch-McKenzie mulcher と称する移動式にチップパーで砕き 一部は燃料、残部はリングフレイカーでフレークボードのコアに。樹皮と根のほとんどは燃料に。根の一部はリングフレイカーでフレークボードのコアに。工場に集められた上記の原材料は仕分けされて以下のように加工される。広葉樹から述べると、品質のよい製材丸太や合板原木はそのまま売却。残り直径 22 cm 以上のものは長さ 2.5 m に切りセーパーレースでフェイス用フレークをとりながら cant を作り、それを 2 本合せてジベルで結合し、鉄道枕木 (7"×9") とする。直径 12.5~22 cm のものは 1,350 mm のセーパーレースでフェイス用フレークをとりつつ cant を作り、さらに 1 : 2 : 1 の厚さに挽き割って、組合せてパレットを作る。直径 12.5 cm 以下のものおよび腐朽材はチップにリングフレイカーでコアフレークに。

一方、針葉樹（パイン）については、直径 20 cm 以上のものはセーパーレースでフェイス用フレークをとりながら円筒材を作り、円筒になった後厚さ 6 mm のロータリーベニヤに剥く、ベニヤは広幅長尺の LVL 盤に加工する。剥心と直径 20 cm 以下の丸太はセーパーレースでフェイスフレークをとりつつ cant に加工され、stud（間柱）寸法に鋸挽きされる。梢端材など極端に細いものと腐朽材はリングフレイカーでコアフレークに。

以上の加工で得られるものは、広葉樹の鉄道枕木とパレット、広葉樹と針葉樹の混合した構造用フレークボード、針葉樹の住宅用間柱と LVL による任意寸法の構造材ということになり、それらの加工に要するエネルギーを根や枝など林地残廃材で補うことになる。16年前にはこの地域の木材利用はサザンパインに限られ製材とクラフトパルプに使われており歩留りは全植物質の30%であったが、このシステムを採用した今では

67%と大きく伸びたと言う。

わが国で今問題になっている間伐材は平均胸高直径が 12 cm と言われており、BRUSH system ではコアフレークの製造にしか使われていないから、直接このシステムを導入してもほとんど役に立たないと思われるが、全体を通じての組織的な考え方や合理性の追求し方に学ぶべき点があるように思われる。小径木の LVL 化はそれ単独では企業性がない場合でも、他の加工と併せることにより採算性をもつようになるかも知れないので、小径木の利用は、このようなトータルシステムとして考えなければならないのかも知れないと思う。

b) 日本における小径間伐材の LVL 化

さきに述べたように、わが国における年間の要間伐量はおよそ 500 万 m³ と言われており、その主たるものはスギ、ヒノキ、カラマツ、アカマツである。これらは節が多く、ねじれや曲りなども生じやすいが、従来、丸太のままの利用や工芸品や簡易家具については採算性は良好であった。しかし、量的にみて、間伐材の用途は建築用材または紙・パルプ・ボード用チップを考える必要があろう。しかし、チップとしての採算性は著しく悪いから、目下用途開発は建築用材が主体となろう。間伐材は製材歩留りが低いので集成材に加工しても実用上採算性がない。LVL は集成材に比べて歩留りの高いことおよび工程に人手をかけなくてよい点有利である。

間伐材の LVL 化は今のところ実験段階である。スライズベニヤを用いる方法は剝心がないので歩留り上有利である。しかし、集成接着の工程は自動化しにくい点が問題であろう。一方、ロータリー単板を用いる方法は、細剝きの技術開発が必要である。

これまでに京都大学木材研究所、木質材料研究部門では、針葉樹低質材および小径間伐材の LVL 化に関して幾つかの実験を行ってきた^{20,21,59,60)}。

Table 10 はこれらの実験において使用した原木とベニヤレースならびに単板歩留りの一覧表である。ここでは野引きを使用しない場合の値のみを示した。レースのタイプ (3) は特に細剝き用に試作されたレースで、原木の回転力はスピンドルからは与えられず、原木の外周から与えられる。このタイプのレースでは剝心 3 cm 程度まで比較的問題なく剝くことができる。この種のレースによる単板歩留りは驚異的に高い。単

Table 10. Average veneer yield in rotary peeling of logs which are produced by thinning operation or as residues of forestry.^{20,59,60)}

L o g s	Number of bolts	Average diameter of bolts (cm)	Lathe type	Target core diameter (cm)	Veneer yield (%)
SUGI logs from thinning operation	36	16.5	(1)	9	55.5
HINOKI " "	54	14.5	(1)	9	47.2
HINOKI bent trunks	12	17.0	(1)	9	58.3
SUGI stumps	19	21.5	(2)	8	82.2
HINOKI stumps	18	19.7	(2)	8	72.2
KARAMATSU logs from thinning operation	25	16.5	(2)	8	67.4
AKAMATSU " "	30	15.3	(2)	8	64.7
SUGI " "	17	16.4	(3)	3.5	89.5
HINOKI " "	26	13.9	(3)	3.5	91.4
AKAMATSU " "	31	13.4	(3)	3.5	80.4

Lathe (1): Ordinary veneer lathe (bolt length: 73 cm)²⁰⁾, Lathe (2): Modified bamboo lathe (bolt length: 40 cm)⁵⁹⁾, Lathe (3): Special lathe with a driving pressure bar (bolt length: 40 cm)⁶⁰⁾.

板の裏割れは丸太の中心に近づくに従い著しくなる。また、材質も未成熟になってくるから、丸太の中心近くの単板を用いた LVL の材質はかなり低いものと考えられる。目下調査中である。

剥心径を 8~9 cm とし、レゾルシノール・フェノール樹脂接着剤を用いて製造した間伐材 LVL の機械的性質の代表的なものをまとめると Table 11 のごとくである^{20,59)}。これらの値を用い、次式によって許容応力度を略算した結果は、Table 12 の通りである。

$$\text{Allowable stress (long duration of load)} = \frac{(\text{Average strength}) - 2 (\text{Standard deviation})}{2.1}$$

Table 11. Some selected properties of LVL produced with logs from forest thinning operation.^{20,59)}

Materials	MOR (Kg/cm ²)	MOE (10 ³ Kg/cm ²)	Shear strength (radial) (Kg/cm ²)	Shear strength (tangential) (Kg/cm ²)	Cleavage strength (radial) (Kg/cm ²)	Cleavage strength (tangential) (Kg/cm ²)
SUGI 11-ply LVL*	258 (8.2)	358 (5.6)	73.4 (8.5)	61.7 (13.4)	19.3 (15.4)	17.0 (21.3)
HINOKI 11-ply LVL*	423 (9.1)	84.4 (6.7)	82.6 (9.4)	88.7 (15.8)	25.2 (9.0)	23.3 (18.5)
KARAMATSU 10-ply LVL**	391 (18.2)	106.2 (8.9)	70.2 (21.9)	66.5 (32.5)	17.0 (18.5)	13.0 (23.8)
AKAMATSU 10-ply LVL**	379 (7.8)	123.0 (2.8)	67.0 (25.1)	75.5 (31.4)	16.2 (20.9)	13.0 (24.1)

* From literature (20), average of 10~13 specimens.

** From literature (59), average of 8 specimens.

*** Numbers in parentheses are coefficients of variation.

Table 12. Allowable stress of LVL produced with logs from forest thinning operation.²⁰⁾⁵⁹⁾

Allowable stress	SUGI	HINOKI	KARAMATSU	AKAMATSU
Bending	101	164	118	152
Shear (radial)	29	32	19	16
Shear (tangential)	22	29	11	13
Cleavage (radial)	6	10	5	5
Cleavage (tangential)	5	7	3	3

この表の値は現行の木構造設計基準にうたわれている値の中の普通構造材のそれに比べて十分に大きな値である。両者の誘導体系が異なるから直接の比較に問題があるかも知れないが、間伐材の LVL を構造材に用いることは可能なように思われる。

c) ソ連カラマツ低質材の LVL 化

大きな節が存在し、製材しても利用価値のない原木がソ連カラマツの陸揚げ土場にしばしば見られる。このようなものを原木として、厚さ 4.8 mm の単板に剥き、フェノール・レゾルシノール樹脂接着剤を用いて LVL を製造し、その材質を調べた⁶¹⁾。Fig. 7 はその 1 例である。原木 7 本のうち 3 本はこのような低質原木、2 本は普通グレード、残り 2 本は無欠点原木を用いた。図にはこれら原木から得られた各種グレードの単板を組合せて 8 プライの LVL としたものの材質のヒストグラムを点線で、同じ原木の一端から製材して得られた角材の材質のヒストグラムを実線で示した。素材は原木のグレードの拡がりに応じて幅の広い分布をしているが、LVL では、どのような低質単板の組合せに対しても、比較的高い材質が得られ、全体にバラツキの少ない材料になっている。これら曲げ試験の結果と同様、せん断についても、割裂についても、素材に見られる材質の広いバラツキは LVL 化することによって軽減される。

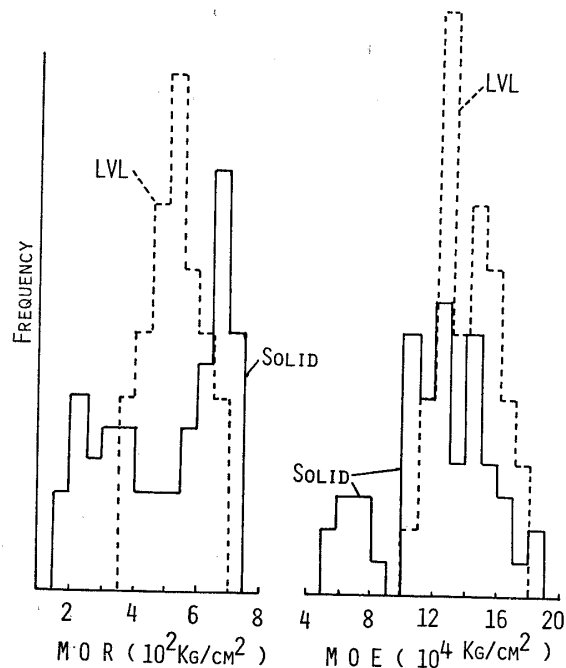


Fig. 7. Comparison of bending properties of 8-ply Siberian larch LVL of 2''x4'' size to those of solid lumber sawn from the corresponding logs.

Table 13. Allowable stresses of 8-ply Siberian larch LVL for long term duration of load.⁶¹⁾

Allowable stress	Solid wood	L V L
Bending	Clear 193	165
	Knotty 39	
	av. 54	
Shear	31	Tangential 31
		Radial 32
		av. 31.5
Cleavage	10	Tang. 9
		Rad. 7
		av. 8

Average of nine observations.

Table 13 は前述の略算式によって求めたソ連カラマツ LVL の長期許容応力度である。この表から構造材料としての利用が可能であるのがわかる。

d) MOVAMIL, SYSTEM¹⁸⁾

MOVAMIL SYSTEM は京都大学木材研究所木質材料研究部門を中心に研究開発を行っている加工システムで、対象として低質材の LVL 化を考え、プラントをコンパクトな移動式のものとしている。MOVAMIL は Movable LVL Mill の略称である。対象とする原木は製材にかかりにくい形質のもので、たとえば根曲り材や短尺材、根株材、梢端材、その他の林地残廃ならびに製材のメリットのない間伐材などが考えられる。

このプラントは A, B, C の3システムに分かれ、A は小型ベニヤレース、クリップ、小型乾燥機を15トントレーラーに積載し、厚さ 4 mm, 幅 45 cm, 長さ 45 cm の乾燥単板を1日 3 m³ 生産するシステムである。B は、フローコーター、スタッカーおよびコールドプレスなど単板の仕組みから圧縮までの装置を15トントレーラーに積載し、厚さ約 10 cm (25 プライ)、幅 45 cm, 長さ 4 m の LVL 原板を1日 6 m³ 生産するシステムであって、システム B 1 台がシステム A 2 台と接合される。これらは各台技術者3名を要する。移動式のもは以上2システムで、システム C はたとえば森林組合などに固定的に設置される化粧単板オーバーレイ工程であって製品の附加価値を高めるためのものである。

概算によれば、これら A, B, C 3段階の加工工程で生ずる粗利率は、システム A で5%, B で9%, C で29% となり、単板や LVL 原板の製造では採算性が低い、化粧工程で採算性が著しく向上される。

このようにプラントを移動式とする必要性は、単に間伐材の集材に便利のためではない。この種の加工であげる利潤を直接林業経営に還元するため、この加工を林業サイドの事業とすることが必要だからである。林業サイドでは従来簡単な製材程度の加工技術と経験しか持ち合せないから、LVL 加工に対して不安があり、設備投資と技術者の養成にとまどいを持つのが当然であろう。このことを解消し、林業サイドが気軽に LVL 加工を試みることができるためには、技術者もプラントもレンタルシステムとすることがよいと思われる。しかもそのシステムと技術者のオーナーが公共機関または森林組合のような形のものであることが望まれる。

この研究開発プロジェクトは今始まったばかりである。今後個々の装置の設計を進め完成へもってゆきたいと考えている。

お わ り に

本稿は昭和54年5月18日「木研公開講演」において話した内容をもとに加筆したものである。資源問題が切実さを増してきている今日、森林資源の生産→利用→廃棄→再生産の理想的な循環系を一日も早く確立し、木質材料を永遠に人類の生活の中に生かして使うことができるように努力したい。今回は主として、製造に関して最近の動向をまとめたが、このほかに性質、とくに建築材料としての性能に関して、多くの研究が見られ、とくに材料および住宅の耐用年数についても、その解明に著しい努力が払われている。これらについては機会を見てまとめてみたいと思う。

本稿が今後の木材加工のあり方に多少とも参考になれば幸甚である。

文 献

- 1) FLEISCHER, H.O., Wood Science and Technology, 5, 247/254 (1971).
- 2) 林産研究・教育強化委員会, 木材誌, 25 (2) 160 (1979)
- 3) 農林統計協会, 昭53林業白書 24 (1979).
- 4) LEHMANN, W.F., and H.E. WAHLGEN, FPJ 28 (7) 24/29 (1978).
- 5) FAHEY, T.D. and E. STAROSTOVII, FPJ 29 (4) 39/47 (1979).
- 6) KOCH, P., Biomass Recovery and Utilization with Shaping-lathe Headings, USDA For. Serv., South. For. Exp. Station, Spec. Rept. (1976).
- 7) HOUGHTON, J.E. and L.R. JOHNSON, FPJ, 26 (4) 15/18 (1976).
- 8) FAHEY, T.D. and E. STAROSTOVIC, FPJ, 29 (4) 39, (1979).
- 9) 集成材の日本農林規格, 農林水産省告示 601 号 (1974).
- 10) 木構造設計規準, 日本建築学会 (1973).
- 11) 建設省告示第1019号 (枠組壁工法技術基準) (1974).
- 12) KUNESH, R.H., FPJ 28 (7) 41, (1978).
- 13) 一般用単板積層材の日本農林規格.
- 14) JORGENSEN, R.N., FPJ 25 (8) 13 (1975).

- 15) BROMQUIST, R.F. et al., FPJ 25 (9) 34 (1975).
- 16) FPL Press-lam Res. Team, FPJ 22 (11) 11 (1972).
- 17) FPL Press-lam Res. Team, USDA For. Serv. Res. Pap., FPL 279 (1977).
- 18) 佐々木光ほか, 木工機械 No. 91, 10 (1978).
- 19) 佐々木光, 木材工業 33 (8) 8/12 (1978).
- 20) 佐々木光ほか, 昭52兵庫県農林水産部報告書, 29 (1978).
- 21) 佐々木光, 木材の研究と普及 (北海道林産技術普及協会誌) 27, 1 (1979).
- 22) STOFKO, J. and E. ZAVARIN, US Patent 2,177,160, Oct. 24 (1939).
- 23) JOHNS, W.E. and T. NGUYEN, FPJ 27 (1) 17/23 (1977).
- 24) JOHNS, W.E. and J.K. Woo, FPJ 28 (5) 42/48 (1978).
- 25) COLLETT, B.M., PhD diss. U. Calif. (1973).
- 26) DOLENKO, A.J. and M.R. CLARKE, FPJ 28 (8) 41/46 (1978).
- 27) Patent U.K. No. 933, 693, (1962).
- 28) SHEN, K.C., FPJ 24 (2) 28/44 (1974).
- 29) SHEN, K.C., FPJ 27 (5) 32/38 (1977).
- 30) KOLLMANN, F.F.P. et al., "Principles of Wood Science and Technology II" Chap. 5 (1975) Springer, Berlin.
- 31) 中井 孝, 木材工業, 33 (4) 19, (6) 17 (1978).
- 32) Proc. of a sympo. "Structural Flakeboard from Forest Residues" USDA, For. Serv., Gen. Techn. Rept. WO-5.
- 33) 梶田 熙, 木材工業 34 (4) 3 (1979).
- 34) GEIMER, R. L., USDA, For. Serv., Res. Pap. FPL 275 (1976).
- 35) MALONEY, T.M., "Modern Particleboard and Dry-Process Fiberboard Manufacturing" Chap. 15, Miller Freeman, San Francisco (1977).
- 36) エルメンドルフ, アーミン, 日本特許, 昭44-2361 (1969).
- 37) MAY, H.A., Holz als Roh u. Werkst. 32, 169 (1974).
- 38) SNODGRASS, J.D. et al., Proc. 7th Particleboard Symposium, WSU, 415 (1973).
- 39) McKEAN, H.B., FPJ 25 (9) 63 (1975).
- 40) 佐々木光, 材料 28 (11) 106 (1979).
- 41) HALL, H. and J. HYGREEN, FPJ 28 (6) 19 (1978).
- 42) ベルコーポレーション, 日本特許, 特開昭49-61265 (1974).
- 43) TALBOTT, J. W., Proc. 8th PB Sympo. WSU, 153 (1974).
- 44) BRINKMANN, E., Holz als Roh-u. Werkst. 37, 139 (1979).
- 45) TALBOTT, J.W. and E.K. STEFANAKOS, Wood and Fiber, 4, 193 (1972).
- 46) DORSETT, R. "Modern Sawmill Techniques" Vol. 3 119 (1975), Miller Freeman, New York.
- 47) BRYANT, B.S., Appropriate Technology 4 (4) 26/28 (1978).
- 48) JORGENSEN, R.N., FPJ, 25 (8) 13 (1975).
- 49) COUNTRYMAN, D., FPJ 25 (9) 44 (1975).
- 50) BATY Jr., T.E. et al., FPJ 25 (9) 49 (1975).
- 51) LYONS, B. L. et al., FPJ 25 (9) 56 (1975).
- 52) McKEAN, H.B. et al., FPJ 25 (9) 63 (1975).
- 53) BLOMQUIST, R.F. et al., FPJ 25 (9) 34 (1975).
- 54) 佐々木光, 木材工業, 28 (9) 15/18 (1973).
- 55) 佐々木光, 木材工業, 28 (11) 6/10 (1973).
- 56) MOODY, R.C., USDA, For. Serv., Res. Pap., FPL 181 (1972).
- 57) KUNESH, R.H., FPJ 28 (7) 41/44 (1978).
- 58) BRAUN, M.O. and R.C. MOODY, FPJ 27 (11) (1977).
- 59) 佐々木光ほか, 昭和53年度農林水産業特別試験研究補助金による研究報告書「山土場における端材の高度利用に関する研究」(1979).
- 60) 佐々木光ほか, 同上 (昭和54年度)
- 61) 佐々木光ほか, 第26回日本木材学会大会研究発表要旨 3421 (1976).
- 62) TENWOLDE, A. and R.N. STONE, Resource Recovery and Conservation, 3, 249/259 (1978).
- 63) MOODY, D.R., FPJ, 26 (9) 65/72 (1976).